

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 46 702 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 06 K 9/62**  
G 01 N 21/88  
G 01 B 9/021  
G 01 M 11/08

②① Aktenzeichen: 196 46 702.0  
②② Anmeldetag: 12. 11. 96  
④③ Offenlegungstag: 28. 5. 97

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
22.11.95 GB 9523860

⑦① Anmelder:  
European Gas Turbines Ltd., Lincoln, GB

⑦④ Vertreter:  
Manitz, Finsterwald & Partner, 80538 München

⑦② Erfinder:  
Wilds, Alan Philip, Washingborough, Lincoln, GB

⑤④ Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel

⑤⑦ Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel, worin der Artikel mit seiner theoretischen Konstruktion verglichen wird, mit den folgenden Schritten, daß

- (i) ein erstes Bild gebildet wird, das ein Bild des hergestellten Artikels ist,
- (ii) ein rechnerunterstütztes Entwurfssystem verwendet wird, um ein zweites Bild zu liefern, das ein Bild der theoretischen Konstruktion des Artikels ist,
- (iii) das erste Bild und das zweite Bild verglichen werden und
- (iv) jegliche Unterschiede zwischen dem ersten Bild und dem zweiten Bild ermittelt werden.

Das erste Bild kann ein Videobild oder ein fotografisches Bild oder ein Hologramm sein oder kann durch elektronisch gehaltene Daten gebildet sein, und das zweite Bild kann ein Videobild oder ein fotografisches Bild oder ein Hologramm sein oder kann durch elektronisch gehaltene Daten gebildet sein.

DE 196 46 702 A 1

DE 196 46 702 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 97 702 022/450

6/25

Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel, wobei die Größe und Form des tatsächlichen Artikels mit der des theoretischen Konstruktion verglichen werden. Sie befaßt sich insbesondere aber nicht ausschließlich mit einem Verfahren zum Untersuchen eines Artikels, wie einer Gußmetallkomponente, und findet besondere Anwendung bei der Verwendung mit Gasturbinenschaufeln.

Es kann sein, daß es erforderlich ist, das eine Komponente, wie eine Gasturbinenschaufel, eine komplizierte Oberflächenkontur aufweist und für eine optimale Betriebswirksamkeit mit äußerst kleinen Toleranzen hergestellt werden muß.

Zu prüfen, daß derartige Komponenten tatsächlich innerhalb ihrer Konstruktionsgrenzen liegen, ist eine schwierige, zeitverschlingende und teure Aufgabe, welche eine spezielle Meß- und Untersuchungsausrüstung und eine sehr geschulte Mannschaft erfordert.

Das Ziel der Erfindung ist, ein schnelleres, billigeres und genaueres Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel zu schaffen.

Zu diesem Zweck schafft ein erster Aspekt der Erfindung ein Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem dreidimensionalen Artikel, worin der Artikel mit seiner theoretischen Konstruktion verglichen wird, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt, daß

- (i) ein erstes Bild gebildet wird, das ein Bild des hergestellten Artikels ist,
- (ii) ein rechnerunterstütztes Entwurfssystem verwendet wird, um ein zweites Bild zu liefern, das ein Bild der theoretischen Konstruktion des Artikels ist,
- (iii) das erste Bild und das zweite Bild verglichen werden und
- (iv) jegliche Unterschiede zwischen dem ersten Bild und dem zweiten Bild ermittelt werden.

Der Ausdruck "Bild" muß in diesem Kontext allgemein interpretiert werden. Das erste Bild kann ein photographisches Bild, ein Bild auf einer visuellen Darstellungseinheit oder ein Hologramm umfassen, oder kann in der Form von elektronisch gehaltenen Daten vorliegen, welche den Artikel vollständig beschreiben. Das zweite Bild kann wahlweise jede geeignete Form annehmen (einschließlich irgendeiner der Formen, die für das erste Bild beispielhaft angeführt wurden). Natürlich werden die zwei Bilder Formen aufweisen müssen, die für Vergleichszwecke zueinander passen.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt Schritt (i) den Schritt, daß der hergestellte Artikel gehalten wird und der Artikel beleuchtet wird, um ein Muster auf der Oberfläche des Artikels zu erzeugen, wobei der Artikel unter Verwendung einer Laserinterferometrie-technik beleuchtet werden kann, die ein Streifenmuster auf der Oberfläche des Artikels erzeugt, und der beleuchtete Artikel über eine optische Einrichtung betrachtet werden kann, wobei das erste Bild das Muster umfaßt.

Das zweite Bild kann durch virtuelles Beleuchten eines theoretischen Modells des Artikels gebildet werden, wie es durch das rechnerunterstützte Entwurfssystem geliefert wird. Die virtuelle Beleuchtung des Modells kann ein Nachbilden eines elektronisch erzeugten La-

sers mittels Software verwenden, und derartige Software kann konstruiert sein, um ein idealisiertes Streifenmuster an dem Modell zu ergeben.

In einer bevorzugten Ausführung umfaßt Schritt (iii) den Schritt, daß das erste Bild und das zweite Bild in gleiche Perspektive und Stellung gebracht werden, indem ausgewählte Bezugspunkte auf den ersten und zweiten Bildern verwendet werden, und Schritt (iii) kann weiter den Schritt umfassen, daß die Unterschiede in den Streifenmustern elektronisch verglichen werden.

In Schritt (iv) kann Rechner-Software verwendet werden, um die Unterschiede zwischen dem ersten Bild und dem zweiten Bild in einer sichtbaren oder einer numerischen Form zu beschreiben.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung umfaßt ein Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel die Schritte, daß

- (i) ein Laserinterferometrie-Streifenmuster gebildet wird, das die theoretische dreidimensionale Form eines Teils des Artikels darstellt, wobei die Form von einem rechnerunterstützten Entwurfssystem geliefert wird, und
- (ii) ein entsprechendes Laserinterferometrie-Streifenmuster gebildet wird, das die tatsächliche dreidimensionale Form des entsprechenden Teils des hergestellten Artikels darstellt, und
- (iii) die jeweiligen Streifenmuster verglichen werden, um Abweichungen der Form des hergestellten Artikels von seiner theoretischen Konstruktion zu bestimmen.

Es werden nun Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, wobei derartige Ausführungsformen rein beispielhaft für verschiedene Wege sind, auf welchen die Erfindung in Kraft gesetzt werden kann.

Zur Annehmlichkeit betrifft der Rest der Beschreibung insbesondere ein Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einer Gasturbinenschaufel, aber dies sollte als rein beispielhaft für die Gegenstände, Artikel und Komponenten genommen werden, auf welche das Verfahren der Erfindung anwendbar ist.

Der Konstruktionsprozeß von Komponenten, wie Gasturbinenschaufeln wird mathematische Berechnungen, Experimente und in der abschließenden Analyse das Schließen von Kompromissen zwischen in Konflikt geratenden Kriterien beinhalten.

Heutzutage wird der Konstruktionsvorgang beinahe sicher in einem größeren oder kleineren Ausmaß die Verwendung eines rechnerunterstützten Entwurfssystems (nachstehend als CAD-System bezeichnet) beinhalten, und die Erfindung verwendet ein derartiges System als eines ihrer Merkmale. Wenn jedoch die abschließende theoretische Konstruktion des Artikels geschaffen wird, werden Details dieser abschließenden Konstruktion, d. h. Form, Winkel, Abmessungen, Oberflächenkonturen, Krümmungen, etc. in dem Speicher des CAD-Systems definiert sein. Des weiteren wird der Maschinenpark, der zur Herstellung der Komponente verwendet wird, oft auf die Daten des CAD-Systems zur Anweisung und Steuerung des Maschinenparks angewiesen sein.

Aufgrund der gehaltenen Daten wird ein dreidimensionales Modell in dem CAD-System erzeugt und gehalten, das die vollständigen Details der theoretischen Konstruktion zeigt, und dieses dreidimensionale Modell wird zum Vergleich mit der tatsächlich hergestellten Komponente verwendet. Es ist zu verstehen, daß das

dreidimensionale Modell in der Form von in einem Rechner gehaltenen Daten vorhanden ist, aber es auf einer VDU (visuellen Darstellungseinheit) oder als ein Druck von der VDU sichtbar ist, wobei es natürlich auf der VDU aus jedem Winkel oder jeder Position betrachtet und wie erforderlich skaliert werden kann. Als Teil des Detektionsvorgangs ist ein Streifenmuster an dem Bild der theoretischen Konstruktion zu bilden und es wird, weil dies die idealisierte Konstruktion ist, das Streifenmuster ebenfalls idealisiert sein. Um ein Streifenmuster an dem Modell zu bilden, wird zusätzliche, mit der CAD-Software verbundene Software verwendet. Die zusätzliche Software wirkt tatsächlich, um eine Laserinterferometrie-technik an dem Modell nachzubilden und legt das idealisierte Streifenmuster auf das Modell. Diese Überlagerung kann auf der VDU (oder einem Druck davon) sichtbar sein, aber dies ist nicht wesentlich, solange der Rechner die Streifenkoordinaten zum Vergleich mit dem Streifenmuster hat, das auf der realen Turbinenschaufel gebildet wird (siehe unten).

Die Details der tatsächlichen Produktion der Komponente sind für die Erfindung nicht relevant, aber es wird beispielhaft ins Auge gefaßt, daß die Schaufel unter Verwendung z. B. einer Investmentgußtechnik gegossen werden würde.

Die Komponente wird in ihrer abschließend hergestellten Form gehalten und dann unter Verwendung einer geeigneten Technik beleuchtet, wodurch ein Streifenmuster auf der Oberfläche der Komponente erzeugt wird. Es sind verschiedene Verfahren für die Bildung eines derartigen Streifenmusters erhältlich, obwohl es im allgemeinen geeignet sein wird, irgendeine Form von Laserinterferometrie-technik zu verwenden.

Beispielsweise kann der hergestellte Artikel von einer Laserquelle und dann von einer zweiten Laserquelle beleuchtet werden, wobei die zwei Quellen in einem kleinen Ausmaß voneinander beabstandet sind. Tatsächlich ist dieser Effekt erreichbar, indem der Strahl von einer Quelle auf den Artikel unter Verwendung eines kippbaren Spiegels reflektiert wird, welcher zwischen Belichtungen gekippt wird, so daß es scheint, daß sich die Quelle bewegt.

In einer alternativen Anordnung ist der Artikel innerhalb einer Zelle mit einem Fluid da herum gehalten, dessen Brechungsindex sich zwischen Belichtungen ändert.

Das Streifenmuster ermittelt Änderungen des Gradienten auf der Oberfläche der Komponente und daher von dessen Form.

Die beleuchtete Form wird über eine optische Einrichtung, z. B. eine Kamera betrachtet, und das zusehene Bild einschließlich des zugeordneten Streifenmusters wird in irgendeiner geeigneten Form, z. B. als ein Hologramm, als eine Photographie, als ein Videobild oder elektronisch aufgezeichnet.

Damit der Vergleich zwischen den Streifenmustern des CAD-Modells und der realen Komponente richtig vorgenommen wird, ist es wesentlich, daß beide genau auf die gleiche Abmessungskalierung gebracht und beide genau in die gleiche Stellung, Orientierung und Perspektive gesetzt werden. Um dies zu erreichen, werden äquivalente Bezugspunkte sowohl auf das Computermodell der theoretischen Konstruktion als auch auf das Bild der realen Komponente angewendet (ausgewählte Bezugspunkte können beispielsweise Punkte sein, die durch den Schnitt von zwei oder mehr Oberflächen gebildet werden). Das CAD-Modell wird dann skaliert und gedreht, bis ein genaues Zusammenpassen der Bezugs-

punkte des CAD-Modells und der äquivalenten Bezugspunkte auf dem Bild der realen Komponente erhalten wird.

Wenn das CAD-Modell und das Bild der realen Komponente derart übereinander gelegt worden sind, werden die Streifenmuster verglichen. Jegliche Unterschiede zwischen den Streifenmustern zeigen einen Fehler bei der Produktion der realen Komponente an, und der Fehler kann aufgrund der bekannten Wellenlänge des verwendeten Laserlichts berechnet werden.

Nachdem jegliche Unterschiede zwischen den zwei Darstellungen detektiert worden sind, können die verschiedenen Abweichungen der tatsächlichen Form von der idealisierten Form in einer sichtbaren oder numerischen Form unter Verwendung geeigneter Software wiedergegeben werden.

Es kann dann die Entscheidung getroffen werden, ob die tatsächliche Komponente innerhalb der Konstruktionstoleranzen liegt, oder ob die Konstruktionstoleranzen in dem Ausmaß überschritten werden, daß die Komponente zurückgewiesen werden oder zur Nachbearbeitung geschickt werden muß.

Zusammengefaßt umfaßt ein Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel, worin der Artikel mit seiner theoretischen Konstruktion verglichen wird, folgende Schritte, daß

- (i) ein erstes Bild gebildet wird, das ein Bild des hergestellten Artikels ist,
- (ii) ein rechnerunterstütztes Entwurfssystem verwendet wird, um ein zweites Bild zu liefern, das ein Bild der theoretischen Konstruktion des Artikels ist,
- (iii) das erste Bild und das zweite Bild verglichen werden und
- (iv) jegliche Unterschiede zwischen dem ersten Bild und dem zweiten Bild ermittelt werden.

Das erste Bild kann ein Videobild oder ein photographisches Bild oder ein Hologramm sein oder kann durch elektronisch gehaltene Daten gebildet sein, und das zweite Bild kann ein Videobild oder ein photographisches Bild oder ein Hologramm sein oder kann durch elektronisch gehaltene Daten gebildet sein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem dreidimensionalen Artikel, worin der Artikel mit seiner theoretischen Konstruktion verglichen wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt, daß

- (i) ein erstes Bild gebildet wird, das ein Bild des hergestellten Artikels ist,
- (ii) ein rechnerunterstütztes Entwurfssystem verwendet wird, um ein zweites Bild zu liefern, das ein Bild der theoretischen Konstruktion des Artikels ist,
- (iii) das erste Bild und das zweite Bild verglichen werden und
- (iv) jegliche Unterschiede zwischen dem ersten Bild und dem zweiten Bild ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, worin das erste Bild ein Videobild oder ein photographisches Bild oder ein Hologramm ist oder durch elektronisch gehaltene Daten gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, worin das

zweite Bild ein Videobild oder ein photographisches Bild oder ein Hologramm ist oder durch elektronisch gehaltene Daten gebildet wird.

4. Verfahren einem der vorhergehenden Ansprüche, worin Schritt (i) den Schritt umfaßt, daß der hergestellte Artikel gehalten wird, und der Artikel beleuchtet wird, um ein Muster auf der Oberfläche des Artikels zu erzeugen. 5

5. Verfahren nach Anspruch 4, worin der Artikel unter Verwendung einer Laserinterferometrie-technik beleuchtet wird, welche ein Streifenmuster auf der Oberfläche des Artikels erzeugt. 10

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, worin der beleuchtete Artikel über eine optische Einrichtung betrachtet wird, und das erste Bild das Muster umfaßt. 15

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin das zweite Bild durch virtuelles Beleuchten eines theoretischen Modells des Artikels gebildet wird, wie es durch das rechnerunterstützte Entwurfssystem geliefert wird. 20

8. Verfahren nach Anspruch 7, worin die virtuelle Beleuchtung des Modells ein Nachbilden eines elektronisch erzeugten Lasers mittels Software verwendet. 25

9. Verfahren nach Anspruch 8, wenn an Anspruch 5 anhängend, worin die Software, die einen elektronisch erzeugten Laser nachbildet, ein idealisiertes Streifenmuster an dem Modell ergibt. 30

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin Schritt (iii) den Schritt umfaßt, daß das erste Bild und das zweite Bild in die gleiche Perspektive und Stellung durch die Verwendung von ausgewählten Bezugspunkten auf den ersten und zweiten Bildern gebracht werden. 35

11. Verfahren nach Anspruch 9, worin Schritt (iii) den Schritt umfaßt, daß die Unterschiede in den Streifenmustern elektronisch verglichen werden. 40

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, worin in Schritt (iv) Rechner-Software verwendet wird, um die Unterschiede zwischen dem ersten Bild und dem zweiten Bild in einer sichtbaren Form oder einer numerischen Form zu beschreiben. 45

13. Verfahren zum Detektieren von Produktionsfehlern in einem Artikel, dadurch gekennzeichnet, daß es die Schritte umfaßt, daß 50

(i) ein Laserinterferometrie-Streifenmuster gebildet wird, das die theoretische dreidimensionale Form eines Teils des Artikels darstellt, wobei die Form von einem rechnerunterstützten Entwurfssystem geliefert wird, und 55

(ii) ein entsprechendes Laserinterferometrie-Streifenmuster gebildet wird, das die tatsächliche dreidimensionale Form des entsprechenden Teils des hergestellten Artikels darstellt, und 60

(iii) die jeweiligen Streifenmuster verglichen werden, um Abweichungen der Form des hergestellten Artikels von seiner theoretischen Konstruktion zu bestimmen.